



SPANNING TREE -PROTOKOLLAN TOIMINTA TIETOVERKOSSA

TEKIJÄ/T: Jussi Äikäs

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Tietotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Jussi Äikäs			
Työn nimi			
Spanning tree -protokollan toiminta tietoverkossa			
Päiväys	15.5.2015	Sivumäärä/Liitteet	30 / 0
Ohjaaja(t)			
Laboratorioinsinööri Pekka Vedenpää / Savonia-ammattikorkeakoulu			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Savonia-ammattikorkeakoulu			
Tiivistelmä			
<p>Työn tarkoituksena oli perehtyä Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkon kytkinten spanning tree -protokollan toimintaan sekä tutkia mahdollisia tapoja parantaa verkon toimintakykyä kyseisen protokollan kannalta. Koska Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkko koostuu pääsääntöisesti Cisco Systemsin valmistamista kytkimistä, on spanning tree -protokolla keskeinen verkon kytkinten sujuvan toimivuuden kannalta.</p> <p>Työ vaati perehtymistä spanning tree -protokollaa käsittelevään kirjallisuuteen ja verkkomateriaaliin sekä tämän teorian hyödyntämistä käytännössä. Tämän lisäksi työ vaati Savonia-ammattikorkeakoulun eri kampusten tietoverkkojen kytkinten nykyisen spanning tree -protokollan konfiguraation selvittämistä ja analysointia parannuksia varten.</p> <p>Työssä on kerrottu spanning tree -protokollan tarkoitus tietoverkossa sekä esitetty ja vertailtu protokollan eri versioita. Työssä on käsitelty spanning tree -protokollaa Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkon näkökulmasta, esitetty eri kampusten verkkorakennetta ja nykyistä konfiguraatiota sekä ehdotettu parannuksia spanning tree -protokollan toimintaan.</p> <p>Tässä työssä esitetyt spanning tree -protokollan konfiguraation muutokset parantavat Savonia-ammattikorkeakoulun nykyistä tietoverkon toimintaa mutta vielä tehokkaamman ratkaisun toteuttaminen vaatii enemmän selvitystä ja suunnittelua.</p>			
Avainsanat			
silmukka, tietoverkko, tietoliikenne, spanning tree, kytkimet, lähiverkot			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Jussi Äikäs			
Title of Thesis Operation of the Spanning Tree Protocol in an Internetwork			
Date	15 May 2015	Pages/Appendices	30 / 0
Supervisor(s) Mr Pekka Vedenpää, Laboratory Engineer /Savonia University of Applied Sciences			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to examine the operation of the spanning tree protocol in the internetwork of Savonia University of Applied Sciences and then study ways to improve the performance of the network from the viewpoint of the spanning tree protocol.</p> <p>The work was started by getting familiar with the literature and web-based materials of the different versions of the spanning tree protocol. Then based on the studied material, the different versions of the spanning tree protocol were compared by their attributes and performance. Next, the network structures of different campuses were described and lastly, the current spanning tree configurations in the network switches of all Savonia UAS campuses were identified and analysed for possible improvements.</p> <p>As a result, the performance of the spanning tree protocol in the internetwork of Savonia UAS was evaluated and improvement suggestions to the spanning tree configurations in every network of Savonia UAS campuses were proposed.</p>			
Keywords Network, loop, spanning tree, switch, configuration, internetwork, LAN			

ESIPUHE

Haluan kiittää työharjoittelun ja opinnäytetyön ohjaajaani laboratorioinsinööri Pekka Vedenpäästä ohjauksesta ja tuesta.

Kuopiossa 15.5.2015

Jussi Äikäs

SISÄLTÖ

LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 SPANNING TREE -PROTOKOLLA (STP)	8
3 ROOT-KYTKIN, PORTTIEN TILAT JA ROOLIT	10
3.1 Porttien roolit	10
3.2 Porttien tilat	11
4 SPANNING TREE -PROTOKOLLAN ERI VERSIOT	13
4.1 Common Spanning Tree (CST).....	13
4.2 Rapid Spanning Tree -protokolla (RSTP).....	13
4.2.1 Rstp-porttien roolit	13
4.2.2 Rstp-porttien tilat	14
4.2.3 Nopea siirtyminen datanvälitystilaan.....	14
4.2.4 Topologian muutosmekanismi ja porttien synkronointi.....	15
4.3 Per VLAN Spanning Tree Plus (PVST+).....	16
4.4 Per VLAN Rapid Spanning Tree Plus (PVRST+)	17
4.5 Multiple Spanning Tree -protokolla (MSTP)	18
5 SPANNING TREE -PROTOKOLLA SAVONIAN TIETOVERKOSSA.....	21
5.1 Opistotien kampus	21
5.2 Mikrokadun kampus	23
5.3 Varkauden kampus	25
5.4 Iisalmen kampus.....	27
6 YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	30

LYHENTEET

LAN (Local Area Network) = Lähiverkko, paikallisverkko.

VLAN (Virtual Local Area Network) = Virtuaalinen lähiverkko, joiden avulla voidaan jakaa fyysinen lähiverkko useisiin loogisiin alueisiin.

Kytkin = Tietoverkkolaite jolla voidaan yhdistää paikallisverkon osia toisiinsa sekä jakaa verkkoa fyysisesti eri osioihin. Liittämällä kytkimiä toisiinsa voidaan verkkoa laajentaa suuremmaksi.

Topologia = Fyysisellä topologialla tarkoitetaan tapaa jolla verkon laitteet on liitetty toisiinsa; looginen topologia kuvaa tapaa jolla verkon laitteet kommunikoivat keskenään yli fyysisen topologian.

Konvergenssi (Convergence) = Tila jossa verkon kytkimillä on sama topologia informaatio tietoverkosta, sekä verkossa ei ole datanvälityssilmukoita ja datan välittäminen voi alkaa.

Konvergenssiaika = Aika joka kytkimillä kuluu, keskenäisessä neuvottelussa, yhtenäisen topologia informaation keräämiseen.

Redundanssi = Tietoverkossa takaa paremman vikasietoisuuden ja varayhteyden. Redundanttinen verkko tarkoittaa tilaa jossa verkossa on vara-, lisälaitteita sekä -reittejä mikäli yksi yhteys katkeaa laitteiden väliltä tai laite vikaantuu.

Layer 2 = OSI mallin Tasolla 2 (layer 2) toimiva kytkin välittää data frameit portteihinsa perustuen paketin määränpään MAC-osoitteeseen. Nämä osoitteet on tallennettu kytkimen CAM-tauluun (Content Addressable Memory), joka kartoittaa MAC-osoitteet kytkimen portteihin.

Layer 3 = OSI mallin Tasolla 3 (layer 3) toimiva kytkin tai reititin tekee pakettien reititys päätökset perustuen paketin määränpään IP-osoitteeseen.

MAC-osoite = Media Access Control address on laitteen fyysinen osoite joka yksilöi sen verkossa. Usein MAC-osoite on kirjoitettu laitteen verkkokorttiin jo sen valmistus tehtaalla.

IP-osoite = Internet Protocol address on osoite joka käyttää Internet protokollaa kommunikoimiseen laitteiden välillä. Kaikki Internetissä kulkevat paketit ovat IP-paketteja, jotka vaativat IP-osoitteen kohteen tunnistamiseen ja paikantamiseen.

1 JOHDANTO

Työ on tehty keväällä 2015 Savonia-ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena on perehtyä Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkon kytkinten spanning tree -protokollan toimintaan sekä tutkia mahdollisia tapoja parantaa verkon toimintakykyä kyseisen protokollan kannalta.

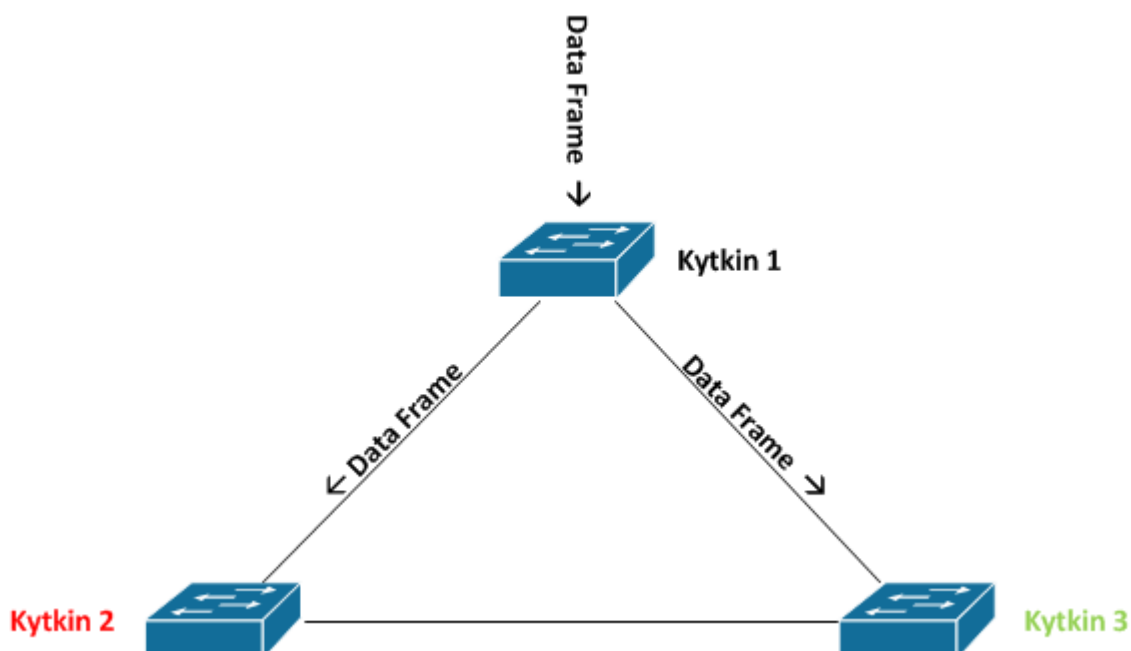
Työhön ryhdyttiin koska aikaisempaa selvitystä spanning tree -protokollan toiminnasta tietoverkossa ei ollut olemassa ja sen toimintaa haluttiin parantaa sekä tehostaa. Koska Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkossa olevat kytkimet ovat enimmäkseen Cisco Systemsin valmistamia, spanning tree -protokolla on keskeinen tietoverkon sujuvan toimivuuden kannalta.

Työssä kerrotaan ensin spanning tree -protokollan merkitys ja toiminta tietoverkossa sekä esitellään ja vertaillaan protokollan eri versioita. Sitten käsitellään spanning tree -protokollaa Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkon näkökulmasta, esitetään eri kampusten verkkorakennetta ja nykyistä konfiguraatiota sekä ehdotetaan spanning tree -protokollan toiminnan parannuksia.

2 SPANNING TREE -PROTOKOLLA (STP)

Nykytietoverkoille on ominaista korkea käytettävyys ja palvelujen jatkuva saatavuus, etenkin kaupallisissa yrityksissä tai koulujen kampuksilla. Lisäksi ne koostuvat useista toisiinsa kytketyistä Layer 2 -tason kytkimistä. Yksi tapa varmistaa tietoverkon resurssien jatkuva saatavuus (käyttäjille) on huolehtia verkon laitteiden ja linkkien redundanttisuudesta eli varmistaa, että laitteiden välillä on useita eri yhteyksiä sekä itse laitteilla on varalaitteet toiminnassa tietoverkossa. Tämän Layer 2 -tason redundanssin vuoksi on mahdollista, että kytkinten välille muodostuu datanvälityssilmukoita, joissa data frame (datapaketit) kulkevat laitteelta toiselle loputtomassa silmukassa halvaannuttaen siten koko tietoverkon toiminnan. Spanning tree -protokolla kehitettiin tunnistamaan ja ehkäisemään näiden silmukoiden muodostumista. (Froom, Sivasubramanian & Frahim 2011, 119, 120.)

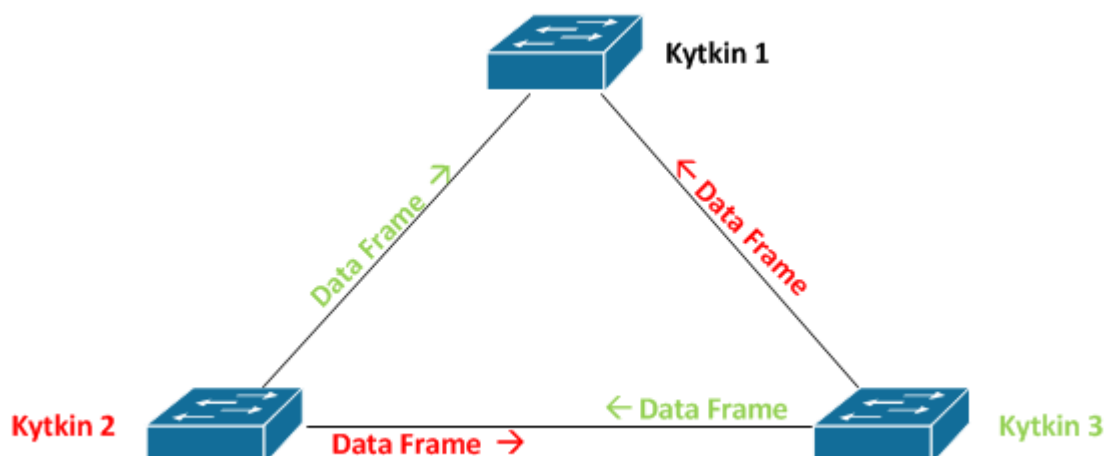
Ensimmäisen spanning tree -protokollan version kehitti Radia Perlman vuonna 1985 Digital Equipment Corporationissa. Vuonna 1990 siitä julkaistiin ensimmäinen IEEE-standardi 802.1D, joka pohjautui Perlmanin algoritmiin. Sitten spanning treesta on julkaistu useita eri versioita, joissa on eri toiminnallisuuksia. Jos silmukka muodostuu verkon kytkimien välille, on mahdollista, että sama data frame monistuu ja välittyy kytkimeltä toiselle ja sekoittaa laitteen datanvälitysalgoritmin. Spanning tree ehkäisee silmukoiden muodostumisen sallimalla vain yhden aktiivisen yhteyden laitteiden välillä ja estämällä muut redundanttiset yhteydet. Jos aktiivien yhteys katkeaa, yksi varayhteys tulee aktiiviseksi. (Froom ym. 2011, 119, 120.)



KUVA 1. Saapuva data frame

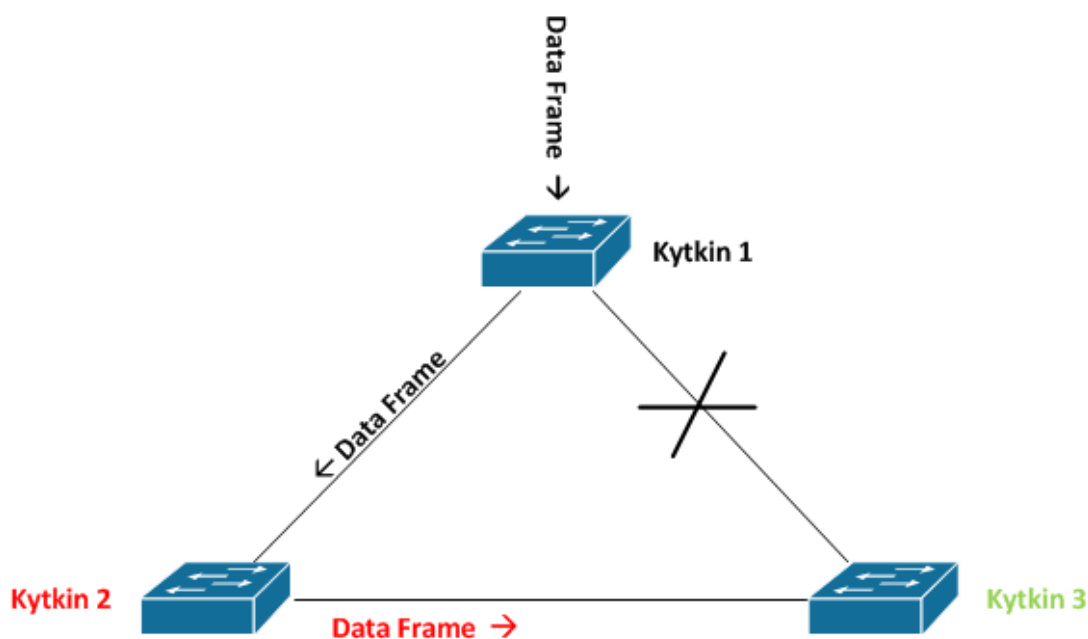
Kuten kuvassa 1 on havainnollistettu, Kytkin 1:lle saapuu data frame, jonka määränpää ei ole Kytkin 1:n MAC-osoitetaulukossa tiedossa, joten kytkin välittää framen eteenpäin kaikista muista porteistaan paitsi siitä, johon se saapui.

Kuvassa 2 esitetään, mitä tapahtuu, jos Kytkin 1:ltä saapuva data framen määränpää MAC-osoite ei löydy myöskään Kytkin 2:n tai Kytkin 3:n MAC-taulukosta ja jos spanning tree -protokolla ei ole konfiguroitu toimimaan. Kytkin 2 ja 3 välittävät data framen eteenpäin kaikista porteistaan paitsi siitä, johon se saapui Kytkin 1:ltä. Tällöin Kytkin 2:lta Kytkin 3:lle saapuva data frame välittyy eteenpäin Kytkin 1:lle ja Kytkin 2:lle, Kytkin 3:lta kulkeva paketti välittyy eteenpäin myös Kytkin 1:lle. Näin verkossa on syntynyt datanvälityssilmukka; sama datapaketti monistuu ja välittyy laitteelta toiselle loputtomiin ja ylikuormittaa kytkimien prosessorit sekä tukkii verkkoliikennettä.



KUVA 2. Välityssilmukka

Kuvassa 3 havainnollistetaan, kuinka spanning tree -protokolla ehkäisee datanvälityssilmukan muodostumisen. Spanning tree on neuvotellut kytkinten välille yhden aktiivisen yhteyden ja estänyt muut redundantit yhteydet. Näin data frame kulkee Kytkin 1:ltä Kytkin 3:lle Kytkin 2:n kautta. Mikäli Kytkin 3 ei ollut datapaketin määränpää, se pudotetaan pois eikä sitä välitetä suoraan takaisin Kytkin 1:lle.



KUVA 3. Spanning tree -protokollan toiminta

3 ROOT-KYTKIN, PORTTIEN TILAT JA ROOLIT

Kun spanning tree -protokolla otetaan käyttöön tieverkossa, se aloittaa alustavan konvergoitumisen, eli kytkimet neuvottelevat keskenään yhteisen, loogisen topologian, jossa ei ole datanvälityssilmukoita. Kytkimet neuvottelevat erityisten BPDU (Bridge Protocol Data Unit) framien avulla, joita kytkimet välittävät keskenään. BPDU framet sisältävät tietoa kytkimistä, joiden avulla ylläpidetään spanning tree -topologiaa, kytkimet lähettävät niitä keskenään oletuksena joka 2 sekunnin välein (hello timer). BPDU framien avulla kytkimet säätelevät myös omien porttiansa rooleja ja tiloja eli sitä, milloin portit välittävät verkon liikennettä tai ovat estettyjä. Myös jos kytkin huomaa topologian muutoksen (topology change) eli jokin yhteys on katkennut, se ilmoittaa root-kytkimelle ja root-kytkin lähettää BPDU framen kaikkiin verkon kytkimiin, joihin on merkitty TC flag -bitti. Tämän avulla kytkimet valmistautuvat verkon rakenteen muutokseen. Topologian muutos tapahtuu, jos kytkimen portti ei vastaanota kolmea perättäistä BPDU framea sen naapurikytkimeltä tai sen maximum age -ajastin kuluu loppuun (oletus 20 sekuntia). (Froom ym. 2011, 132, 133.)

Ensimmäinen ja tärkein vaihe on root-kytkimen valinta verkon kaikista kytkimistä. Verkossa voi olla vain yksi root kytkin jokaista vlan:a kohden. Root-kytkin on spanning tree -topologian ylin kytkin, johon verkon kaikki muut kytkimet muodostavat parhaimman eli nopeimman reitin. Verkon suunnittelun kannalta onkin olennaista valita root-kytkimeksi sellainen kytkin, jonka kautta joko kulkee paljon verkon liikennettä tai siitä on yhteys ulkoverkkoon tai Internetiin. Root-kytkimeksi valitaan kytkin, jolla on pienin siltatunniste (bridge ID), joka muodostuu kytkimen prioriteettiarvosta (bridge priority) ja MAC-osoitteesta. Prioriteettiarvon pystyy asettamaan kytkimelle sitä konfiguroimalla; ilman konfigurointia kaikkien kytkinten oletusarvo on 32 768. Mikäli kaikilla verkon kytkimillä on sama prioriteettiarvo, root-kytkimeksi valitaan kytkin, jolla on pienin MAC-osoite.

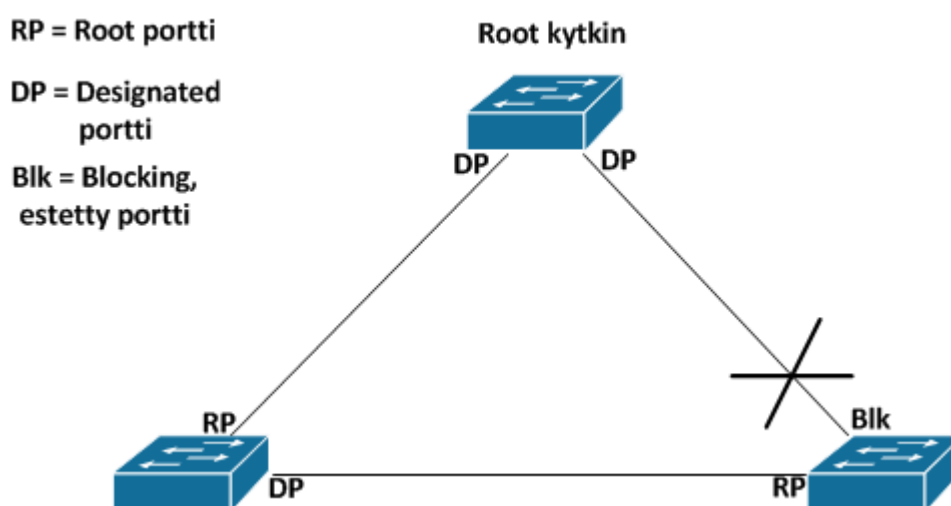
3.1 Porttien roolit

Kun root-kytkin on valittu, spanning tree alkaa asettaa verkon kytkimien porttien rooleja BPDU frameja lähettämällä. Eri porttien rooleilla spanning tree hallinnoi verkon topologiaa ja redundanttisia yhteyksiä, jotta välityssilmukoita ei pääse muodostumaan. Spanning treen eri versioissa on hieman erilaisia porttien rooleja, jotka tavallisesti ovat seuraavat:

- Root-portti sijaitsee muissa kuin root-kytkimessä ja on paras eli nopein reitti root-kytkimelle. Root-portti välittää dataliikennettä kohti root-kytkintä, ja root-porttiin saapuvien data framien lähettäjälaitteen MAC-osoite voidaan tallentaa MAC-aulukkoon. Jokaisella kytkimellä voi olla vain yksi root-portti.
- Designated-portti voi olla sekä root- että muissa kytkimissä. Root-kytkimen kaikki portit ovat designated-portteja. Muissa kytkimissä designated-portit vastaanottavat ja välittävät dataliikennettä kohti root-kytkintä ja vain yksi designated-portti voi olla verkkosegmenttia kohden. Designated-porttiin saapuvien data framien lähettäjien MAC-osoite voidaan tallentaa MAC-aulukkoon.

- Nondesignated-portti (ei - designoitu) ei välitä dataliikennettä eli on estetty (blocking) portti. Nondesignated porttiin saapuvien data framien lähettäjien MAC-osoitetta ei tallenneta MAC-tilukkaan.
- Disabled-portti on suljettu portti.

Käytännössä suoraan root-kytkimeen yhteydessä olevan kytkimen portin rooli on root ja saman kytkimen muu portti, jonka kautta jokin toinen kytkin on yhteydessä root-kytkimeen, on rooliltaan designated. (Ks. KUVA 4. Porttien roolit.) Mikäli verkonsegmentissa kaksi eri porttia on mahdollista olla root-portteja, valinta näiden välillä tapahtuu erillisen Path Cost (reitin hinta) -parametrin avulla. Path Cost -parametrin arvo määräytyy linkin välitysnopeuden mukaan, jolloin nopeampi yhteys valitaan root-portiksi. Jos kuitenkin kaksi yhteyttä on myös yhtä nopeita (sama reitin hinta), root-portiksi valitaan se portti, jolla on pienin portti-ID-luku. Portti-ID koostuu konfiguroitavasta portin prioriteetti (port priority) -arvosta ja portin numerosta, oletusarvo on 128, joten kytkimen ensimmäisen portin portti-ID on 128.1. (Froom ym. 2011, 122–125.)



KUVA 4. Porttien roolit

3.2 Porttien tilat

Spanning treen kannalta kytkimen portit ovat aina jossain tilassa, esimerkiksi dataa välittävässä tai estetyssä (blocking) tilassa, spanning treen muodostaman loogisen topologian mukaan. Näissäkin tiloissa on vaihtelua protokollan eri versioiden välillä mutta tyypillisesti tilat ovat:

- Blocking (estetty): Portti on rooliltaan nondesignated eikä osallistu datanvälitykseen STP:ssä. Portti vastaanottaa BPDU frameja määrittääkseen root-kytkimen sijainnin ja root ID:n eli siltatunnisteen (bridge ID) sekä sen, mitä rooleja kytkimen porttien tulee omaksua lopullisessa STP:n aktiivisessa topologiassa. Oletuksena portti pysyy tässä tilassa 20 sekuntia (max age).
- Listening (kuunteleva): Tässä tilassa STP on määrittänyt, että portti voi osallistua datavälitykseen. Tässä vaiheessa kytkin vastaanottaa ja välittää BPDU frameja eteenpäin tiedottaakseen viereisille kytkimille, että sen portti valmistautuu osallistumaan STP:n aktiiviseen

topologiaan välittämään dataliikennettä. Oletuksena portti pysyy tässä tilassa 15 sekuntia (forward delay).

- Learning (oppiva): Portti valmistautuu välittämään data frameja ja alkaa tallentaa MAC-osoitteita CAM-taulukkoon. Oletuksena portti pysyy tässä tilassa 15 sekuntia (forward delay).
- Forwarding (välittävä): Portti on osa STP:n aktiivista topologiaa. Se välittää dataliikennettä sekä lähettää ja vastaanottaa BPDU frameja.
- Disabled (suljettu): Tässä tilassa portti ei osallistu STP:n topologiaan eikä välitä data tai BPDU frameja. (Froom ym. 2011, 123.)

Kun spanning tree aloittaa toimintansa tietoverkossa, kaikkien kytkimien portit ovat blocking-tilassa ja joko jäävät siihen tilaan tai siirtyvät listening-, learning- ja forwarding-tiloihin aina sen mukaisesti, ettei verkkoon muodostu datanvälityssilmukoita. Myös jos kytkinten välinen yhteys katkeaa tai laite vikantuu eli tapahtuu spanning treen topologian muutos ja STP:n algoritmi aloittaa uusien reittien laskennan, siirtyvät portit blocking- tai listening- ja learning-tiloihin ennen forwarding-tilaa. Jos kyseessä on epäsuora linkkivika, topologian muutos pysäyttää porttien datanvälityksen noin 50 sekunnin ajaksi ($\text{max age} + 2 \times \text{forward delay}$). Suorasta linkkiviasta spanning tree toipuu noin 30 sekunnissa ($2 \times \text{forward delay}$). Tätä viasta toipumisaikaa kutsutaan spanning treen -konvergenssiajaksi. Ennen kuin spanning tree on konvergoitunut, tietoverkossa ei tapahdu datanvälitystä laitteiden kesken, käyttäjät kokevat tämän verkkokatkoksena. (Froom ym. 2011, 123, 124.)

4 SPANNING TREE -PROTOKOLLAN ERI VERSIOT

Spanning tree -protokollasta on julkaistu useita eri versioita, joista osa on IEEE-komitean standardeja ja toimivat siten muidenkin kuin Cisco Systemsin valmistamissa kytkimissä. Osa, kuten PVST+ (Per Vlan Spanning Tree plus) ja PVRST+ (Per Vlan Rapid Spanning Tree plus), ovat Ciscon omistusoikeudella julkaistuja ja toimivat siten vain Ciscon valmistamissa kytkimissä. Näitä eri versioita on kehitetty vastaamaan uusiin spanning treen tarpeisiin, kuten nopeampaan konvergenssiaikaan tai parempaan dataliikenteen ohjaukseen verkossa.

4.1 Common Spanning Tree (CST)

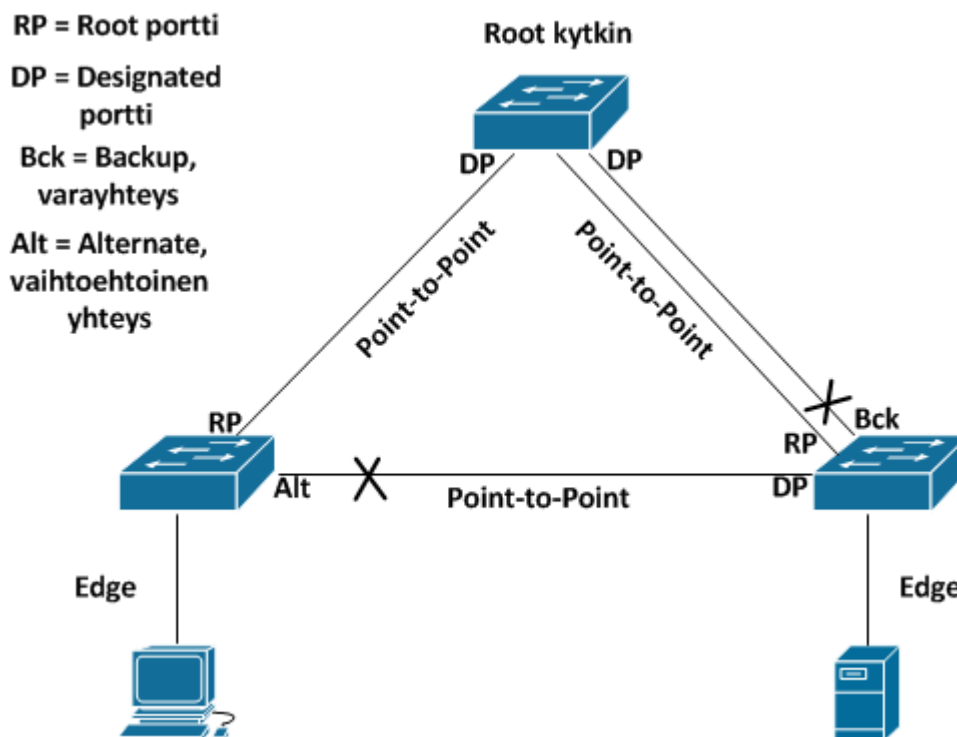
Common Spanning Tree luo yhden 802.1D-standardin mukaisen spanning tree -instanssin koko kytkinverkkoon riippumatta vlianien määrästä. Luvussa 3 käsiteltiin CST:n porttien roolit ja tilat sekä yleinen toiminta. CST luo vain yhden spanning tree -instanssin, joten se ei vaadi paljoa kytkimen käyttämän prosessorin laskentatehoa tai muistia. Mutta koska on vain yksi instanssi, on myös vain yksi root-kytkin eli kaikkien vlianien liikenne kulkee yhtä samaa reittiä kytkinten välillä. Tällöin ei ole minkäänlaista dataliikenteen kuormantasausta (load balance) linkkien välillä; ylimääräiset, redundantit, yhteydet ovat aina käyttämättä, ellei yhteys katkea. Myös 802.1D:n ajastusmekanismien (forward delay, max age) sekä porttien tilojen (listening, learning) takia, verkon konvergenssiaika on hidas topologian muutoksen jälkeen. Yhteyden katketessa tai portin siirtyessä datanvälitystilaan, yhteys kytkinten välillä on poikki 30 sekunnista lähes minuuttiin. (Froom ym. 2011, 120, 123, 124.)

4.2 Rapid Spanning Tree -protokolla (RSTP)

Rapid Spanning Tree -protokolla on IEEE 802.1w-standardin mukainen versio, joka kehitettiin vastaamaan 802.1D-version hitaaseen konvergoitumisaikaan. Topologian muutoksen jälkeen 802.1D-versiolla kestää noin 50 sekuntia konvergoitumiseen; rstp pystyy konvergoitumaan jopa alle sekunnissa. Tämä nopeampi reagointi verkon muutoksiin selittyy rstp:n sisäisillä mekanismeilla sekä erilaisilla porttien tiloilla ja rooleilla. 802.1D-standardiin verrattuna rstp määrittelee kaksi porttien roolia lisää ja vähentää porttien tiloja kolmeen. Samoin kuin 802.1D myös rstp luo vain yhden spanning tree -instanssin riippumatta vlianien määrästä. (Froom ym. 2011, 120.)

4.2.1 Rstp-porttien roolit

Rapid spanning tree protokollassa on samat Root-, Designated- ja Disabled-porttien roolit kuin 802.1D-versiossa ja ne toimivat samalla tavalla. Näiden lisäksi rstp:ssa on Alternate- (vaihtoehtoinen) ja Backup- (varaportti) porttien roolit. Alternate on portti jonka kautta verkossa on vaihtoehtoinen reitti root-kytkimelle. Se siirtyy alternate-tilastaan designated-portti -tilaan, mikäli nykyinen designated reitti katkeaa. Backup-portti on varaportti designated portille samassa verkkosegmentissä, eli se on kahden laitteen välinen redundanttinen linkki. Näillä kahdella, alternate- ja backup-porttien rooleilla, rstp mahdollistaa porttien olevan valmiustilassa ennen yhteyden katkeamista tai topologian muutosta ja siten siirtää portin nopeammin välittävään (forwarding) -tilaan. (Froom ym. 2011, 127, 128.)



KUVA 5. Rstp-porttien roolit

4.2.2 Rstp-porttien tilat

Rapid spanning tree -protokollassa on vain kolme porttien tilaa; Discarding (hylkäävä), Learning (oppiva) ja Forwarding (välittävä). 802.1D spanning tree -protokolla sekoittaa porttien tilat porttien rooleihin, toiminnallisesta näkökulmasta ei ole eroa onko portti listening- vai blocking-tilassa; molemmat hylkäävät frameja ja eivät opettele MAC-osoitteita. Rstp:ssa porttien roolit ja porttien tilat voivat vaihdella itsenäisesti toisistaan. Discarding-tilassa portti estää data framien välittämisen ja siten ehkäisee välityssilmukan muodostumisen. Learning-tilassa portti vastaanottaa data frameja sekä tallentaa niiden perusteella MAC-osoitteita MAC-taulukkoon. Forwarding-tilassa olevat portit määrittelevät aktiivisen topologian ja välittävät data frameja laitteiden välillä. Topologian muutoksen jälkeen, tai porttien synkronisoinnin aikana, data framien välitys tapahtuu vasta erityisen ehdotus ja hyväksyntä prosessin jälkeen. (Froom ym. 2011, 126, 127.)

4.2.3 Nopea siirtyminen datanvälitystilaan

Jotta spanning tree konvergoituisi nopeammin se edellyttää porttien siirtymistä oikeisiin tiloihin riippämin. Ennen 802.1w-standardia spanning tree algoritmi odotti passiivisesti verkon konvergoitumista ennen kuin siirsi portin forwarding-tilaan. Rstp algoritmi varmistaa portin siirron välitystilaan ilman erillisiä ajastimia kahden muuttujan avulla; Link type (linkin tyyppi) ja Edge-portti. Link type kategorisoi portit perustuen sen duplex-tilaan. Portti joka toimii full duplex (eli linkin porttien molemmat päät vastaanottavat ja lähettävät tietoa samanaikaisesti) -tilassa oletetaan olevan point-to-point tyyppinen yhteys missä portti on kytketty vain yhteen laitteeseen linkin toisessa päässä, mikä mahdollistaa portin nopean siirtymisen forwarding-tilaan. Half-duplex (portti joko vastaanottaa tai

lähettää) -tilassa toimivan portin oletetaan olevan jaettu yhteys useamman eri laitteen välillä, ja siirtyminen nopeasti forwarding-tilaan ei ole mahdollista. Portit jotka ovat suoraan yhteydessä pääte-laitteeseen, kuten työasemaan tai palvelimeen, eivät yleensä pysty muodostamaan välityssilmukoita verkossa joten niiden voidaan sallia siirtyä suoraan forwarding-tilaan; ohittaen aikaa vievät listening- ja learning-tilat. Nämä portit määritellään rstp:ssa edge-porteiksi, ja ne eivät aiheuta topologian muutosta kun portti siirtyy tilasta toiseen. Jos edge-portti vastaanottaa BPDU framen (eli porttiin ei ole kytketty päätelaitetta vaan kytkin) se menettää edge-portti -tilansa ja tulee normaaliksi spanning tree -portiksi. Vain kytkimen portit jotka ovat rooliltaan designated käyttävät hyväkseen link type pa-rametria ja nopea siirtyminen forwarding-tilaan tapahtuu vain jos linkki on tyypiltään point-to-point. (Froom ym. 2011, 129, 130.)

4.2.4 Topologian muutosmekanismi ja porttien synkronointi

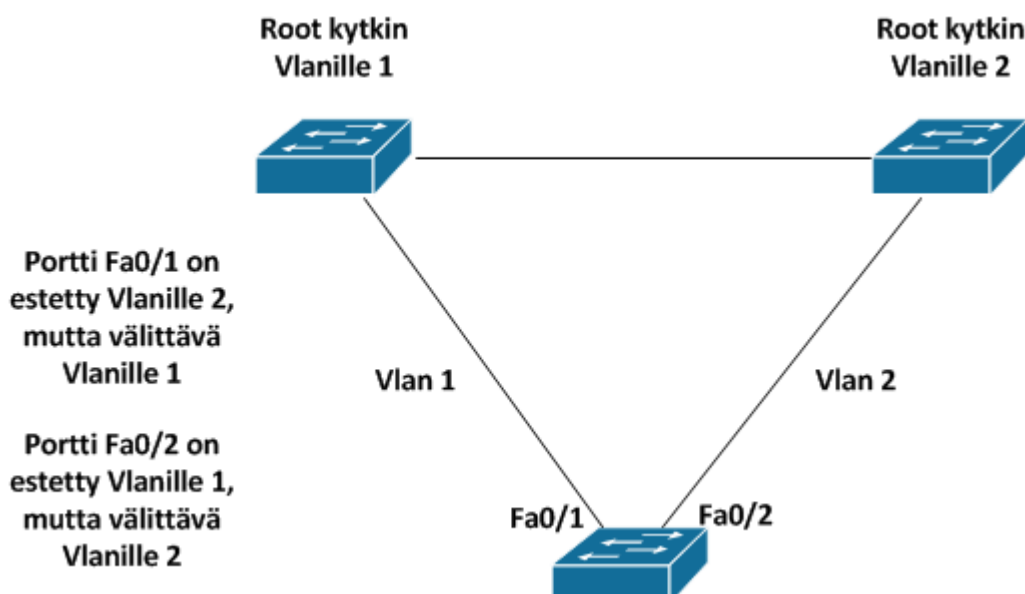
Kun 802.1D spanning tree algoritmi valitsee portin designated-portiksi se silti odottaa forward delay -ajastimen (30 sekuntia oletuksena) ennen kuin siirtää portin forwarding-tilaan. Rstp avaa yhteyden nopeammin erityisen ehdotus ja hyväksyntä prosessin avulla. Kun designated-portti on discarding- tai learning-tilassa (ja vain tässä tapauksessa) se lähettää BPDU framen johon on asetettu ehdotus (proposal) -bitti sen rinnakkaiskytkimille. Muut kytkimet vastaanottavat BPDU framen ja käsittelevät sen tulkitukseen onko vastaanotettu BPDU frame tiedoiltaan parempi kuin kytkimen oma BPDU. Mi-käli se on, BPDU:n lähettämä kytkin valitaan verkon root-kytkimeksi ja muut kytkimet aloittavat porttiansa synkronoinnin. Synkronoinnin alussa kytkin tietää välittömästi että se portti, johon pa-rempi BPDU saapui, on root-portti. Kytkin asettaa muut designated-portit discarding-tilaan varmis-taakseen että portit on synkronisoitu vastaanotetun BPDU:n tietojen mukaisesti. Kun designated-portit on discarding-tilassa kytkin voi avata root-portin yhteyden root-kytkimelle ja lähettää BPDU framen, joka on kopio root-kytkimen lähettämästä BPDU:sta, johon on asetettu hyväksyntä (agree-ment) -bitti ehdotus-bitin tilalle (näin root-kytkimen portti tietää mihin ehdotukseen hyväksyntä vas-taanotettiin). Root-kytkin vastaanottaa hyväksymisen ja asettaa sen portin suoraan forwarding-tilaan johon hyväksyntä vastaanotettiin. Jos kytkin vastaanottaa BPDU framen jossa on ehdotus-bitti mutta kytkimessä on vain edge-, discarding- tai disabled-portteja, root-portin lisäksi, kytkin on jo synkroni-soitu ja se voi välittää hyväksyntä BPDU:n välittömästi takaisin. Nämä ehdotus – hyväksyntä BPDU framet kulkevat läpi koko tietoverkon ja konvergenssi on nopeaa koska se ei ole riippuvainen min-käänlaisista ajastimista. Jos designated-portti, joka on discarding-tilassa, ei saa hyväksyntä vastaus-ta ehdotukseensa se siirtyy hitaasti forwarding-tilaan 802.1D:n listening- ja learning-tilojen kautta.

Myös topologian muutoksesta toipuminen tapahtuu nopeammin rstp:ssa. Kun 802.1D stp kytkin huomaa topologian muutoksen se ilmoittaa siitä ensin root-kytkintä, joka välittää tiedon verkon läpi kaikille kytkimille, ja sitten portit siirtyvät blocking- (20 sekuntia), listening- (15 sekuntia) ja lear-ning- (15 sekuntia) tilojen kautta forwarding-tilaan. Topologian muutoksen tapahtuessa rstp:ssa kytkin joka havaitsee muutoksen käynnistää TC While -ajastimen kaikissa designated-porteissaan, joka on kaksi kertaa hello timer eli oletuksena 4 sekuntia, ja ilmoittaa sen ajan verkon muita kytki-miä topologian muutoksesta BPDU framella jossa TC-bitti on asetettu. Tämän jälkeen kytkin tyhj-en-tää MAC-tilukkinsa kaikista muista kuin edge-porttien kautta tallennetuista osoitteista. Kytkin joka

vastaanottaa BPDU:n jossa TC-bitti on asetettu, myös tyhjentää MAC-aulukonsa, käynnistää TC While -ajastimensa sekä alkaa välittää BPDU frameja jossa on TC-bitti asetettuna. Näiden vaiheiden jälkeen kytkimet suorittavat ehdotus - hyväksyntä prosessin sekä porttien synkronoinnin, yhteyksien palauttamiseksi. Rstp:ssa vain muut kuin edge-portit voivat aiheuttaa topologian muutoksen. Toisin kuin 802.1D-versiossa portti, joka siirtyy blocking-tilaan, ei aiheuta topologian muutosta rstp:ssa. Koska rstp määrittelee valmiustilaan alternate- ja backup-portit, jotka siirtyvät suoraan välitystilaan yhteyden katketessa. (Froom ym. 2011, 131–135.)

4.3 Per VLAN Spanning Tree Plus (PVST+)

PVST+ on Cisco Systemsin omistusoikeudella valmistettu spanning treen versio, joka luo yhden spanning tree -instanssin jokaista kytkimellä olevaa vlnia kohden; eli muodostaa erillisen loogisen topologian spanning tree -topologian jokaiselle vlnille erikseen. Riippuen verkon konfiguraatiosta tämä myös rajoittaa topologian muutokset jokaista vlnia kohden (olettaen että eri topologiat käyttävät eri verkon yhteyksiä). Kun Cisco Catalyst -mallin kytkimille luodaan vln, pvst+ on sen oletus spanning tree versio. Porttien roolit ja tilat sekä niiden toiminta on samanlaiset kuin IEEE 802.1D-standardin spanning treessa. Jokaiselle vlnille erikseen luotava spanning tree vaatii kytkimeltä enemmän resursseja, kuten prosessorin laskentatehoa ja muistin käyttöä. Mutta pvst+ mahdollistaa paremman dataliikenteen ohjauksen kytkinten yhteyksien välillä. Koska on useita spanning tree -instansseja, on myös root-kytkin jokaiselle vlnille erikseen, ja kytkinten redundanttiset yhteydet voidaan hyödyntää dataliikenteen kuormantasaukselle (load balance). Tämän voi toteuttaa konfiguroimalla verkon kytkimen prioriteettiarvoa (bridge priority) siten, että sillä on pienin siltatunniste (bridge ID) vlnissa, jonka root-kytkimeksi kyseinen kytkin halutaan asettaa. Toinen tapa on konfiguroida kytkinten linkkien Path Cost (reitint hinta) -arvoa siten, että kytkin valitsee jonkin tietyn porttinsa linkkiyhteyden vlnin liikenteelle, koska laskee sen olevan nopeampi kuin muiden porttien yhteydet sille vlnille. (Froom ym. 2011, 120.)



KUVA 6. Pvst+ load balance

Koska per vlan spanning tree on Ciscon omistusoikeudella julkaistu eikä IEEE-standardin mukainen versio, se toimii vain Ciscon valmistamissa kytkimissä. Jos verkossa on kytkimiä, jotka käyttävät rapid spanning tree tai common spanning tree -protokollia, ne luovat vain yhden spanning tree -instanssin ja asettavat saman topologian kaikille vlaneille. Rstp ja CST pystyvät kommunikoimaan keskenään, koska niiden BPDU frameit ovat samankaltaiset, mutta portti joka on rstp:stä yhteydessä cst:n menettää kaikki rstp:n hyödyt. Jotta kytkimet, joissa pvst+ toimii, pystyy tunnistamaan ja erottelemaan, mikä vlan kuuluu mihinkin spanning tree -instanssiin, se merkitsee välittämäänsä BPDU framen erilliseen kenttään vlan id-informaation. (Froom ym. 2011, 136.)

Tätä kenttää cst ja rstp eivät osaa tulkita, joten pvst+-kytkimen pystyäkseen kommunikoimaan, cst- tai rstp-kytkimen kautta, toisen pvst+-kytkimen kanssa pvst+ lähettää kahdenlaisia BPDU frameja. Ppst+-kytkimen kommunikoidessa cst- tai rstp-kytkimen kanssa, se lähettää IEEE stp-standardin mukaisia untagged (frameja joissa ei ole vlan id:ta) BPDU frameja IEEE multicast MAC-osoitteeseen (0180.c200.0000), josta (kaikkien) kytkimien native vlanit prosessoivat ne. Samanaikaisesti pvst+-kytkin lähettää untagged ja tagged (frameja joissa on vlan id) BPDU frameja pvst+ multicast MAC-osoitteeseen (0100.0ccc.cccd), josta pvst+ kytkimien vlanit prosessoivat ne. Tällä tavoin pvst+-kytkimet pystyvät keskenään neuvottelemaan loogisen topologian ja pvst+ BPDU frameit tunneloidaan rstp- ja cst-kytkimien lävitse, jotka vain välittävät ne eteenpäin niitä millään tavoin käsittelemättä. (Lapukhov 2008-07-17.)

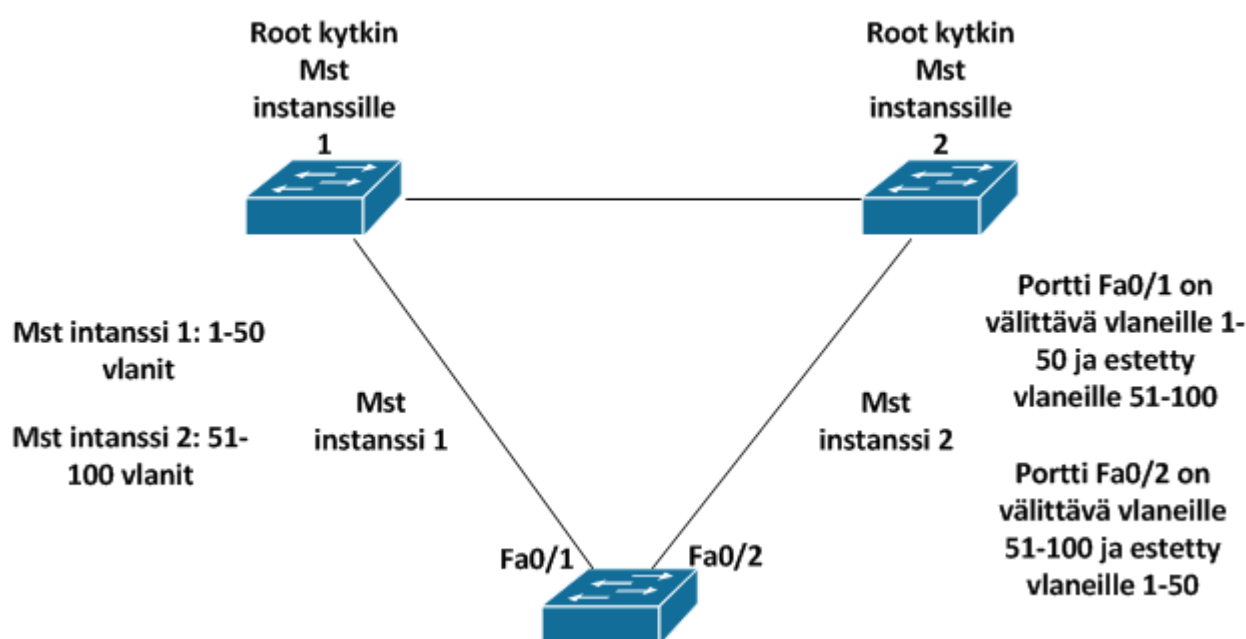
On tärkeää huomiotava, että pvst+-kytkimillä, jotka ovat toisiinsa kytkettyjä rstp- tai cst-kytkimien kautta, on sama native vlan koska tämä on se vlan, jonka kautta ne yhdistyvät rstp:n tai cst:n ainoaan spanning tree -instanssiin ja pystyvät neuvottelemaan keskenään. Jos pvst+-kytkimillä on eri native vlan, aiheutuu spanning tree virhetilanne, kytkin asettaa portin, jossa virheen havaitsi, PVID-inconsistent (Port Vlan ID – ristiriita) -tilaan ja estää dataliikenteen siinä vlanissa, johon virhe viittaa. (Cisco Systems, Inc 2005.)

4.4 Per VLAN Rapid Spanning Tree Plus (PVRST+)

Pvrst+, kuten pvst+ myös, on Ciscon omistusoikeudella julkaistu spanning treen versio, joka toimii vain Ciscon valmistamissa kytkimissä. Pvrst+ on käytännössä yhdistelmä pvst+ ja rstp spanning tree -protokollia. Siinä on samankaltaiset rstp:n porttien roolit ja tilat sekä konvergoitumisprosessi ja porttien synkronointi topologian muutoksen jälkeen ja, kuten pvst+ -protokollassa, pvrst+ luo yhden spanning tree -instanssin jokaista vlnia kohden. Tämän takia pvrst+ -protokollassa yhdistyy 802.1w-standardin nopea toipuminen topologian muutoksesta pvst+ -protokollan parempaan dataliikenteen ohjaukseen redundanttien yhteyksien välillä. Koska pvrst+ -protokollan sisäinen rakenne on samanlainen kuin 802.1w -protokollassa, se pystyy neuvottelemaan ongelmitta 802.1D-standardin spanning tree -protokollaa käyttävien kytkinten kanssa. (Cisco Systems, Inc.)

4.5 Multiple Spanning Tree -protokolla (MSTP)

Multiple spanning tree -protokolla on IEEE 802.1s-standardin mukainen spanning tree -versio. Mstp -protokollan tausta-ajatus sen sijaan on, että luotaisiin spanning tree -instanssi jokaista vlnia kohden tai vain yksi spanning tree -instanssi, luodaan joukko vlaneista riippumattomia spanning tree -instansseja. Multiple spanning tree -protokollassa yhdistetään useita vlaneja samaan spanning tree -instanssiin. Siten spanning tree -instanssien määrä pidetään mahdollisimman pienenä säästäten kytkimen resursseja, mutta hyödynnetään verkon redundanttiset yhteydet dataliikenteen ohjauksella. Kuvassa 7 havainnollistetaan multiple spanning treen -instanssien käyttöä. (Lapukhov 2008-07-27.)



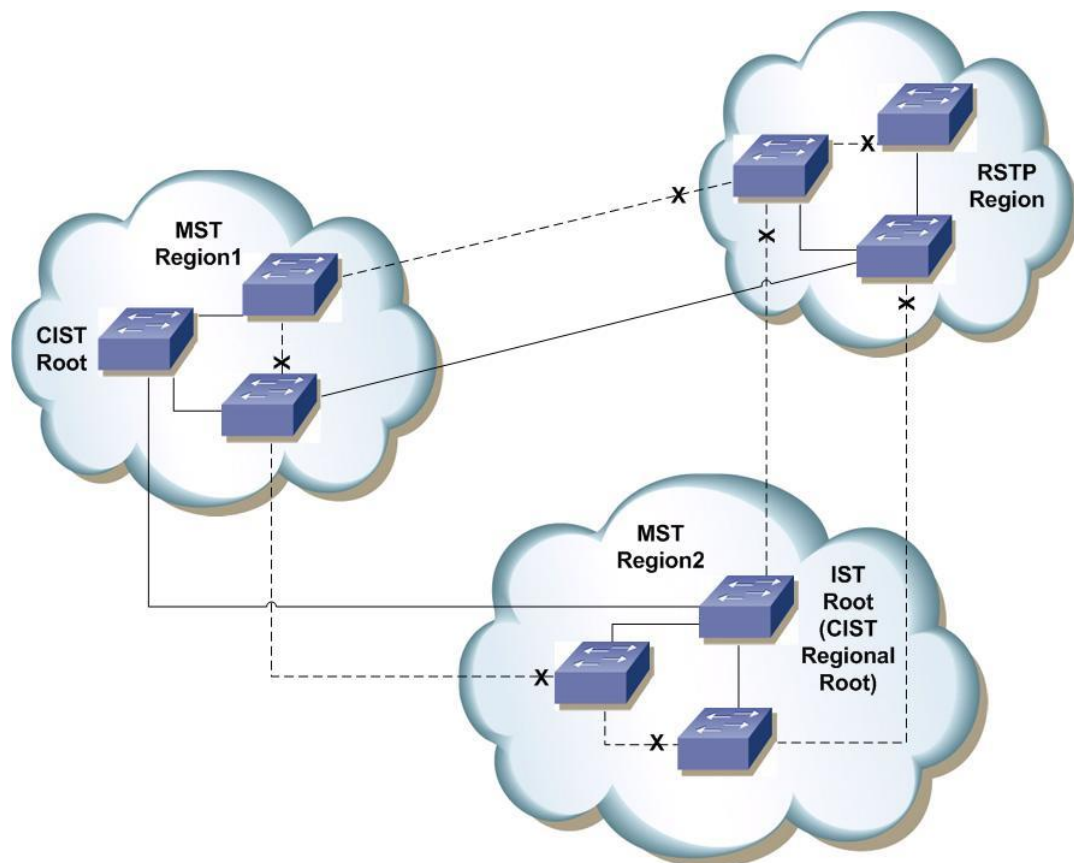
KUVA 7. Multiple spanning tree -instanssit

Multiple spanning treessa on määritelty lisää termejä, jotka muokkaavat sen toimintaa: Mst-alue (region) on joukko kytkimiä, joilla on sama fyysisen topologian ositus loogisiin topologioihin. Jokaisen mst-alueen sisällä toimii 802.1w-standardin rapid spanning tree, jota kutsutaan termillä internal spanning tree (IST) eli sisäinen spanning tree. Jotta kytkimet olisivat samaa mst-aluetta, tulee seuraavien ominaisuuksien olla samat kaikissa kytkimissä:

- Configuration name (konfiguraation nimi) on alueelle annettava nimi, joka voi koostua kirjaimista ja numeroista.
- Configuration revision number (konfiguraation revisionumero) on verkon ylläpitäjän antama revisioluku, jolla määritetään, mikä konfiguraation versio on käytössä kytkimissä. Revisioluku ei kasva tai vähenny automaattisesti, jos konfiguraatioon tehdään muutoksia.
- Vlan-to-instance map (vlanien kartoitus stp -instanssiin) on listaus, jolla yhdistetään vlanit jokaiseen multiple spanning tree -instanssiin. Mikäli vlnia ei määritetä muuhun instanssiin, se on oletuksena mst 0 -instanssissa. (Lapukhov 2008-07-27.)

Multiple spanning tree -protokolla ei lähetä BPDU framea jokaista spanning tree -instanssia kohden, kuten esimerkiksi per vlan spanning tree, vaan kaikki signaalitiedot ja rstp -konfiguraatitiedot kuljetetaan mst 0 -instanssin eli internal spanning treen sisällä. Mst -instansseja voi olla useita ja siten monia vlanien listauksia jokaista mst -instanssia kohden, siksi IST:n välittämässä BPDU frameissa on erillinen MRecords-kenttä, jossa nämä vlan-listaustiedot kuljetetaan, ja kytkimet tunnistavat näitä tietoja vertaamalla olevansa samalla mst-alueella (yksi MRecords-kenttä mst -instanssia kohden). Jokainen multiple spanning tree -instanssi voi olla oma looginen topologiansa, joten jokainen instanssi määrittää itsenäisesti samalla mst-alueella olevien kytkinten porttien roolit, tilat ja muut arvot. Eli saman kytkimen portin tila voi olla estetty yhdessä instanssissa ja välittävä toisessa. Enimmäismäärä mst-instansseja yhden alueen sisällä on 65. (Lapukhov 2008-07-27.)

Saman tietoverkon sisällä voi olla useita multiple spanning tree -alueita ja ne voivat neuvotella keskenään. Tämän lisäksi eri spanning tree -protokollalla toimiva kytkin voi olla yhteydessä mst-alueeseen, mutta se näkyy sille vain yhtenä loogisena kytkimenä, vaikka mst-alue voi koostua useista kymmenistä kytkimistä. Kun tietoverkossa on eri mst-alueita niiden välille sekä alueiden sisälle pitää valita erillinen root-kytkin, jota kutsutaan CIST rootiksi (Common and Internal Spanning Tree) ja CIST regional rootiksi (alueellinen). Kuten muidenkin spanning tree -protokollien root-kytkin myös CIST root -kytkin valitaan pienimmän bridge ID:n mukaan, kaikkien alueiden kaikkien kytkinten väliltä. CIST root -kytkin tulee myös oman alueensa IST rootiksi. Kun CIST root -kytkin on valittu, kaikkien muiden mst-alueiden kytkimet valitsevat yhden alueensa reunakytkimistä CIST regional root-kytkimeksi (boundary), eli kytkimen josta on yhteys toisiin mst alueisiin. Tämä valinta ei siis tapahdu bridge ID:n mukaan, vaan erillisen CIST External Root Path Cost -parametrin avulla. Kytkin jolla on pienin CIST External Root Path Cost -arvo eli nopein yhteys CIST root -kytkimelle, tulee mst-alueensa CIST regional root -kytkimeksi, joka on samalla alueen IST root -kytkin. Tällä tavoin mstp:ssa on kahdensuuntainen hierarkkinen rakenne: Mst-alueiden sisällä on oma spanning tree (IST) - ja alueiden välillä erillinen yhteinen spanning tree (CST) -konfiguraatio. Konfiguroitaessa multiple spanning tree -protokollaa tietoverkkoon on järkevää pyrkiä yhdistämään mahdollisimman monet kytkimet saman mst-alueen sisälle, koska jos CIST root -kytkin vikaantuu tai siihen olevat yhteydet katkeavat, se aiheuttaa topologian muutoksen kaikissa mst-alueissa ja kaikkien kytkinten väliltä on valittava uusi CIST root -kytkin. Lisäksi jokaisen alueen sisällä on valittava uusi CIST regional root -kytkin CIST rootin sijainnin mukaan. (Lapukhov 2008-09-24.)



KUVA 8. Mst-alueet yhdistettynä toisiinsa (Lapukhov 2008)

5 SPANNING TREE -PROTOKOLLA SAVONIAN TIETOVERKOSSA

Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkko kokonaisuudessaan koostuu neljästä eri kampusalueesta: Varkauden, Iisalmen ja Kuopiossa Microkadun sekä Opistotien kampuksista. Näissä kaikissa on oma looginen topologiansa sekä erilliset spanning tree -konfiguraatiot, koska eri kampuksilla on käytössä eri vlaneja. Tietoverkko koostuu pääsääntöisesti Cisco Systemsin valmistamista kytkimistä mutta myös Hewlett-Packardin valmistamista kytkimistä, mikä rajoittaa sopivan spanning tree -protokolla -version valintaa tietoverkkoon. Myös eri kampuksien kytkimissä käytettävien vlanien määrästä mutta fyysisen ja loogisen topologian yksinkertaisen rakenteen takia jotkin spanning tree -protokollan versiot sopivat paremmin eri kampuksille. Taulukossa 1 on vertailtu spanning tree -protokollan eri versioita resurssien käytön, konvergenssiajan sekä topologian muutoksen vaikutusten kannalta.

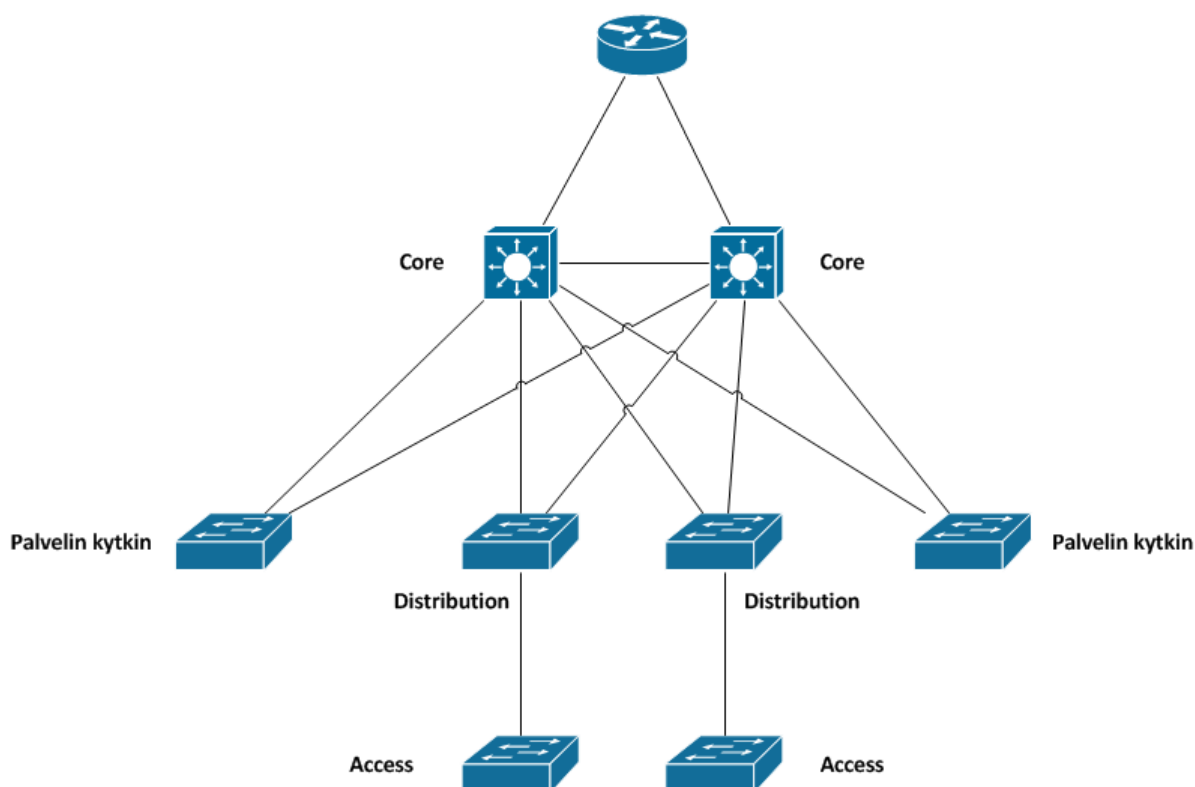
TAULUKKO 1 Spanning tree -protokollien vertailu

Protokolla	Standardi	Kytkimen Resurssien käyttö	Konvergenssi aika	Topologian muutoksen vaikutus
CST	802.1D	Matala	Hidas	Kaikki Vlanit
PVST+	Cisco	Korkea	Hidas	Vlan-kohtainen
RSTP	802.1w	Keskitasoa	Nopea	Kaikki Vlanit
PVRST+	Cisco	Erittäin korkea	Nopea	Vlan-kohtainen
MSTP	802.1s	Keskitasoa / Korkea	Nopea	Vlan luettelo

Jos tietoverkossa on paljon vlaneja mutta vain yksi reitti root-kytkimelle ja Internetiin, on verkon kytkinten toiminnan kannalta parempi valita esimerkiksi rapid spanning tree -kuin per vlan spanning tree plus -protokolla. Tällöin tietoverkossa on spanning treen kannalta vain yksi looginen topologia, joten verkon toiminnan kannalta on hyötyä rstp:n nopeasta toipumisesta topologian muutoksen jälkeen. Pbst+ sen sijaan ei voi hyödyntää dataliikenteen kuormantasausta, sillä verkossa ei ole redundantteja yhteyksiä.

5.1 Opistotien kampus

Opistotien kampuksen tietoverkko koostuu kytkimistä, joissa on käytössä multiple spanning tree - tai per vlan spanning tree plus -protokolla. Mstp on konfiguroitu siten, että tietoverkossa on vain yksi mst-alue ja kaikki vlanit ovat yhdessä mst-instanssissa. Käytännöllisesti katsoen se toimii tavallisen rapid spanning tree -protokollan tavoin, koska mst-alueen sisällä toimii rstp ja vlaneja ei ole jaettu eri mst-instansseihin. Pbst+ -protokollaa on verkon Access-kerroksen kytkimissä eli kytkimissä, joiden kautta päätelaitteet yhdistyvät tietoverkkoon. Nämä yhdistyvät Distributio -kerroksen kytkimiin, joiden tarkoitus on kerätä verkon kaikkien Access-kerroksen kytkinten kuljettama data ja välittää se Core-kerroksen kytkimille, joista on yhteys palvelimille ja ulko verkkoon. Kuvassa 9 esitetään Opistotien kampuksen looginen topologia.



KUVA 9. Opistotien kampuksen looginen topologia

Mst-alue on konfiguroitu siten, että se ulottuu Core-kerroksen kytkimiltä Distribution-kerroksen kytkimille sekä palvelinkytkimille. Vain Access-kerroksen kytkimissä on käytössä pvst+ -protokolla. Opistotien kampuksen kaikki kytkimet ovat Ciscon valmistamia kytkimiä; Core-kerroksen kytkimet ovat Cisco 6500 -sarjan Layer 3 -tason kytkimiä, jotka pystyvät reitittämään dataliikennettä, ja muut ovat 3400- (Layer 3) tai 2960 -sarjan (Layer 2) kytkimiä. Koska kaikki verkon kytkimet ovat Ciscon valmistamia, mstp- ja pvst+ -protokollat pystyvät neuvottelemaan keskenään ilman yhteensopivuusongelmia, vaikka ovat eri standardien mukaisia. 6500 -sarjan kytkimet ovat verkon toiminnan kannalta järkevästi asetettu spanning treen root-kytkimeksi sekä root-varakytkimeksi. Eli jos toinen laitteista vikaantuu, alkaa toinen toimimaan verkon root-kytkimenä. Kuten kuvassa 9 on havainnollistettu, Distribution-kerroksen kytkimiltä ja palvelimiin yhdistetyiltä kytkimiltä on redundantit yhteydet Cor-kerroksen kytkimille. Mutta mstp on konfiguroitu toimimaan vain yhdellä instanssilla, jossa on kaikki vlanit, joten näiden välillä ei ole dataliikenteen kuormantasausta.

Opistotien kampuksen kytkimissä on käytössä yli 50 vlangia, joten on hyödyllisintä käyttää Core-, Distribution-kerroksen ja palvelinkytkimissä pvst+, pvrst+ tai mstp spanning tree -protokollia. Mikäli tietoverkkoa laajennetaan tulevaisuudessa ja Access-kerroksen kytkiminä käytetään muita kuin Ciscon valmistamia kytkimiä, on järkevintä edelleen pitää multiple spanning tree -protokolla muissa kytkimissä, koska se on IEEE-standardin mukainen ja sen takia todennäköisesti yhteensopivampi muiden laitevalmistajien kytkinten kanssa. Parannusehdotuksena mstp:n toimintaan on jakaa vlanit kahteen eri mst-instanssiin esimerkiksi siten, että kummassakin on puolet vlangeista, tai tarkistaa verkonseurantaohjelmalla, missä vlangeissa kulkee eniten dataliikennettä ja jakaa nämä eri mst-instansseihin. Ciscon kytkimissä komentorivin (CLI) komennot ovat esimerkiksi seuraavat:

```

Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mst configuration
Switch (config-mst): instance 1 vlan 1-25
Switch (config-mst): instance 2 vlan 26-50
Switch (config-mst): end

```

Distribution-kerroksen kytkimien ja palvelinkytkinten redundanttisten yhteyksiin voidaan asettaa dataliikenteen kuormasta konfiguroimalla porttien Path Cost -parametria mst-instanssien avulla.

Komennot tälle ovat:

```

Switch: configure terminal
Switch (config): interface GigabitEthernet 1/1
Switch (config-if): spanning-tree mst 1 cost 1
Switch (config-int): end

```

```

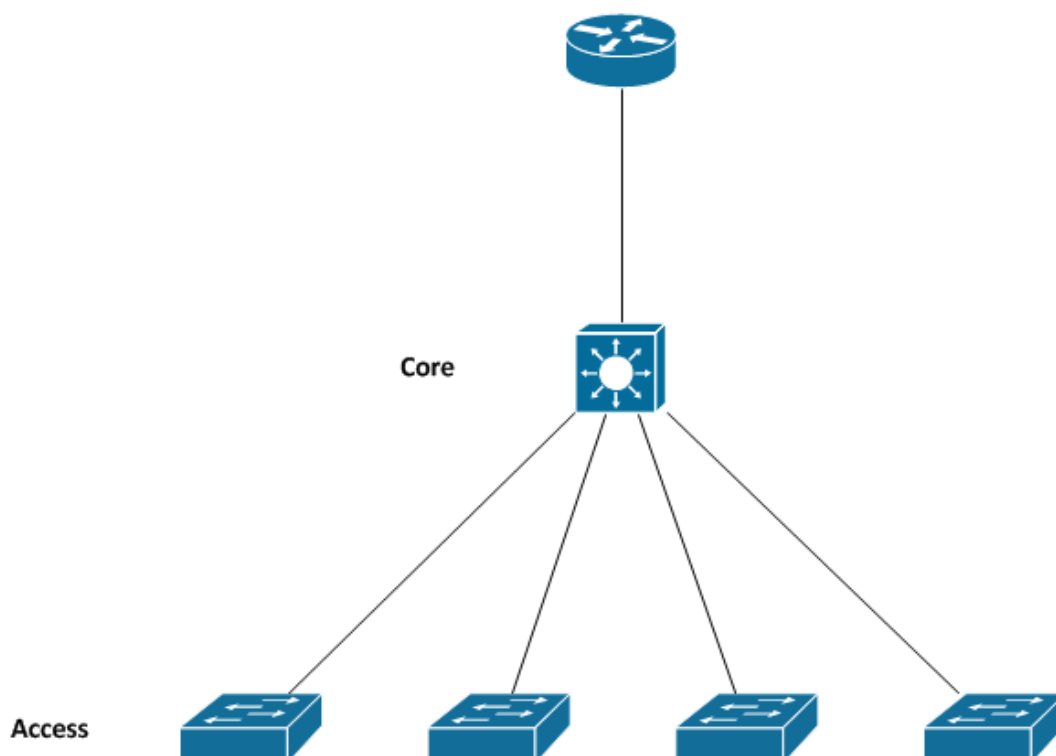
Switch (config): interface GigabitEthernet 1/2
Switch (config-if): spanning-tree mst 2 cost 1
Switch (config-if): end

```

Näiden komentojen avulla portti GigabitEthernet 1/1 kuljettaa mst 1 -instanssin vlanien dataliikenteen ja mst 2 -instanssi on tässä portissa estetyssä tilassa välityssilmukan estämiseksi. GigabitEthernet 1/2 portissa mst 1 -instanssi on estetyssä tilassa ja portti välittää mst 2 -instanssin vlanien dataliikenteen. Multiple spanning tree -protokollassa porttien Path Cost -oletusarvot muodostuvat porttien nopeuksien mukaisesti: 10 gigabitin nopeuksinen portti on oletusarvoltaan 2000, yhden gigabitin portin arvo on 20 000 ja Path Cost -arvo kasvaa vastaavasti portin hitaamman datanvälitysnopeuden mukaan. Asettamalla portin konfigurointitilassa mst-instanssin Path Cost -arvoksi yksi kytkin laskee portin olevan kyseiselle mst-instanssille kaikkein nopein ja asettaa sen välittävään tilaan riippumatta siitä, minkä nopeuksinen portti todellisesti on.

5.2 Microkadun kampus

Kaikissa Microkadun kampuksen kytkimissä on toiminnassa multiple spanning tree -protokolla, joka on konfiguroitu samalla tavoin kuin Opistotien kytkimissä eli kaikki vlanit ovat yhdessä samassa mst-instanssissa. Kuvassa 10 on kuvattu Microkadun tietoverkon looginen topologia, josta voidaan analysoida, ettei verkkoon voi muodostua datanvälityssilmukkaa, koska kytkinten välillä ei ole redundanttisia yhteyksiä. Tämän vuoksi spanning tree -protokollan voisi jopa poistaa käytöstä verkon kytkimisestä.



KUVA 10. Microkadun kampuksen looginen topologia

Microkadun Core-kerroksen kytkin on Cisco 4500 -sarjan Layer 3 -tason kytkin ja Access-kerroksen kytkimet ovat Cisco 2960 -sarjan Layer 2 -tason kytkimiä. Multiple spanning tree -protokollan konfigurointia tarkastelemalla selvisi, että root-kytkimeksi on valittu Access-kerroksen kytkin joten kaikki muut kytkimet, Core-kerroksen kytkin mukaan lukien, laskevat siihen nopeimman reitin eivätkä ulko-verkkoon. Tämä johtuu siitä, että tietoverkon kaikkien kytkinten spanning treen prioriteettiarvona on oletusarvo 32 768 ja tällä kyseisellä Access-kerroksen kytkimellä on verkon pienin MAC-osoite, joten se on valittu root-kytkimeksi. Tämä ei ole spanning tree -protokollan kannalta optimaalisin ratkaisu, vaan parempi olisi asettaa Core-kerroksen kytkin root-kytkimeksi konfiguroimalla sen spanning treen prioriteettiarvoa pienemmäksi. Tämän voi multiple spanning tree -protokollassa tehdä seuraavilla komentorivin komennoilla:

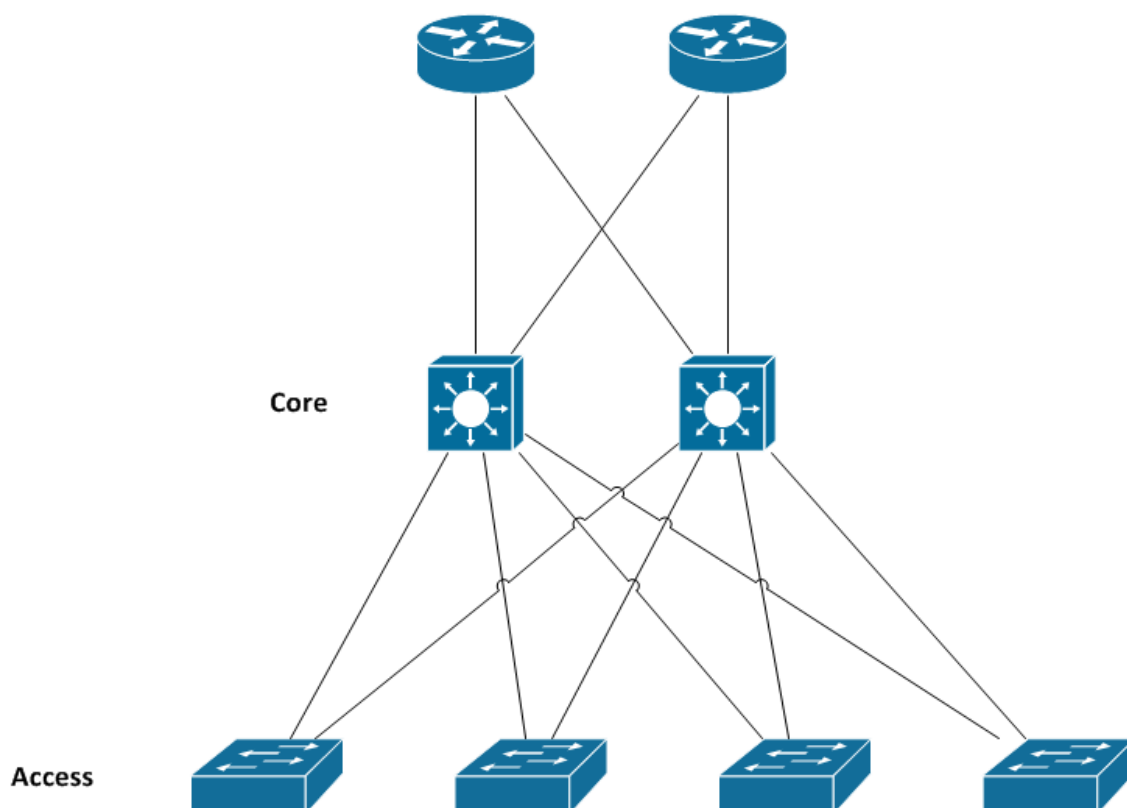
```

Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mst 0-1 root priority 0
Switch (config): end
  
```

Vaikka mst 0 -instanssissa ei ole yhtään vlangia, koska mstp luo sen oletuksena kuljettamaan mst-alueen sisäisen rstp:n signaalitietoja, on suositeltavaa asettaa sillekin root-kytkin. Jos Microkadun multiple spanning tree -protokollaan tehdään lisää mst-instansseja ja niihin jaotellaan vlangia, kaikki vlangit joita ei erikseen määritetä mihinkään tiettyyn instanssiin, mstp asettaa ne oletuksena mst 0 -instanssiin. Siksi on hyvä olla root-kytkin asetettuna myös mst 0 -instanssille spanning treen tehokaimman toiminnan kannalta. Microkadun kampuksella on käytössä noin 10 vlangia ja topologian kannalta kytkimillä on vain yksi mahdollinen reitti ulko-verkkoon, joten pvst+ -tai pvrst+ -protokollaa käyttämällä ei niiden hyötyjä saa toteutettua verkkoon. Koska multiple spanning tree -protokollaan

on konfiguroitu kaikki vlanit samaan mst-instanssiin, se toimii tavallisen rapid spanning treen tavoin, mikä on nykyisen tietoverkon topologian kannalta yksinkertaisin ja hyödyllisin ratkaisu.

Microkadun kampuksen Core-kerroksen kytkimelle on olemassa varakytkin, jota ei ole vielä asennettu paikalleen sekä reitittimelle on olemassa varareititin. Näiden avulla tietoverkosta voisi tehdä vikasietoisemman kytkemällä redundanttisia yhteyksiä kytkinten ja reitittimien välille, sekä konfiguroida spanning treen dataliikenteen kuormantasausta yhteyksien välille. Kuva 11 havainnollistaa toteutettavissa olevan loogisen topologian vikasietoisemmasta tietoverkosta Microkadun kampukselle.

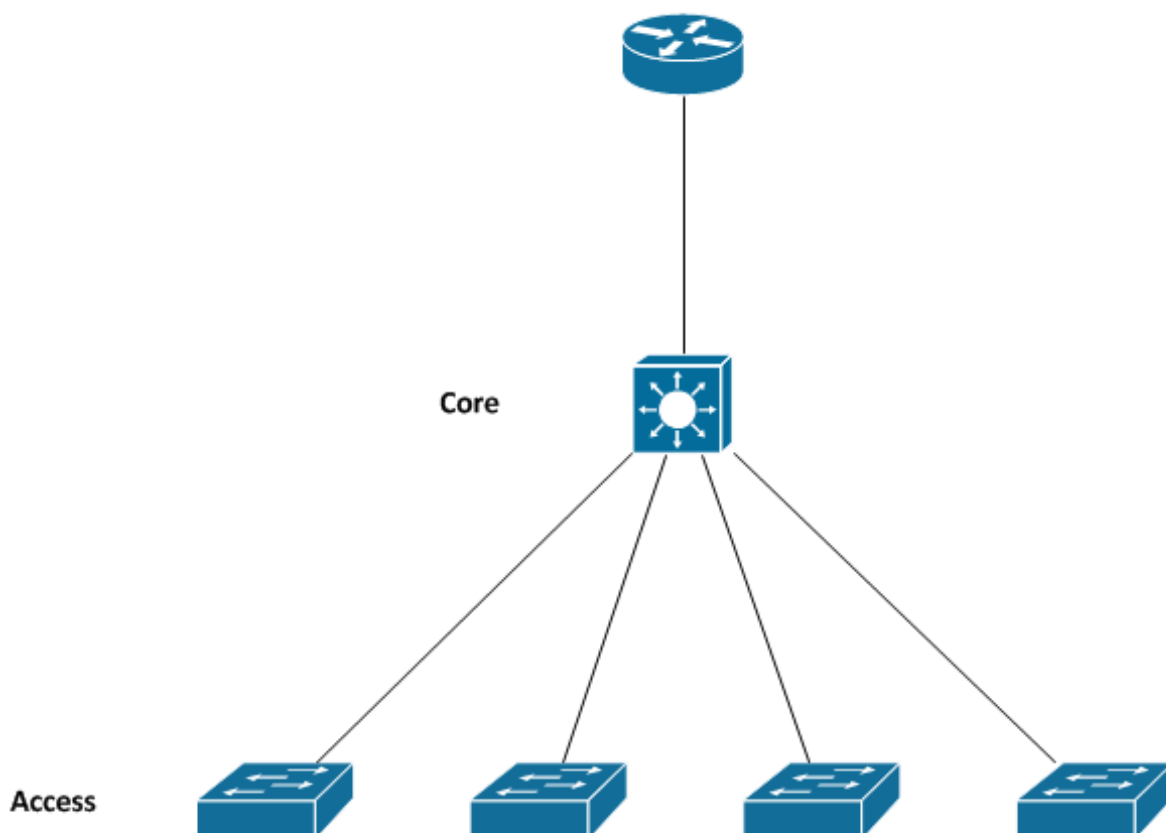


KUVA 11. Microkadun kampuksen vikasietoisempi looginen topologia

5.3 Varkauden kampus

Varkauden kampuksen tietoverkko koostuu Cisco Systemsin sekä Hewlett-Packardin valmistamista kytkimistä. Ciscon valmistamat kytkimet ovat 3400 -sarjan Layer 3 -tason kytkin sekä 2960 -sarjan Layer 2 -tason kytkimet. Hewlett-Packardin valmistamat kytkimet ovat HP ProCurve Layer 2 -tason kytkimiä, joihin on mahdollista konfiguroida toimimaan multiple spanning tree -protokolla (Hewlett-Packard Development Company 2007). Samoin kuin Opistotien ja Microkadun kampuksen Ciscon kytkimissä myös Varkauden kampuksen Ciscon kytkimiin on konfiguroitu multiple spanning tree -protokolla, jossa kaikki vlanit ovat yhdessä samassa mst-instanssissa. Eli spanning tree toimii rapid spanning tree -protokollan tavoin. Osassa Hewlett-Packardin valmistamissa kytkimistä on spanning tree jätetty pois käytöstä ja osaan on konfiguroitu multiple spanning tree -protokolla siten, että kaikki vlanit ovat yhdessä mst-instanssissa. Varkauden kampuksen looginen topologia on samankal-

tainen kuin Mikrokadun kampuksen eli tietoverkossa ei ole redundanttisia yhteyksiä, joten verkkoon ei voi muodostua datanvälityssilmukoita.



KUVA 12 Varkauden kampuksen looginen topologia

Ciscon 3400 -sarjan kytkin on Varkauden tietoverkon Core-kerroksen kytkin, ja 2960 -sarjan Ciscon kytkimet sekä HP ProCurve -kytkimet ovat Access-kerroksen kytkimiä. Varkauden spanning tree -protokollan konfiguraatiota tarkastelussa havaitsin, että Core-kerroksen kytkin oli tietoverkon root-kytkin mst 1 -instanssille, johon on konfiguroitu kaikki vlanit. Mutta yksi Access-kerroksen HP ProCurve -kytkin oli mstp:n oletusinstanssin, mst 0:n, root-kytkin. Tämä johtuu siitä, koska verkon kaikilla kytkimillä on sama spanning treen oletusprioriteettiarvo, ja HP ProCurve -kytkimellä on mst 0 -instanssissa pienin MAC-osoite. Tästä ei ole merkittävää haitallista vaikutusta verkon spanning treen toiminnalle, koska tässä tilanteessa mst 0 -instanssissa kulkee vain mstp:n sisällä olevan rapid spanning tree -protokollan ajastimien tiedot ja signaalitiedot. Parannuksena on hyvä asettaa Core-kerroksen Cisco 3400 -sarjan kytkin root-kytkimeksi mst 0 -ja mst 1 -instansseihin, jos tietoverkon rakenne muuttuu tulevaisuudessa ja verkkoon asennetaan kytkimiä joilla on hyvin pienet MAC-osoitteet. Tämän voi tehdä seuraavilla komentorivin komennoilla:

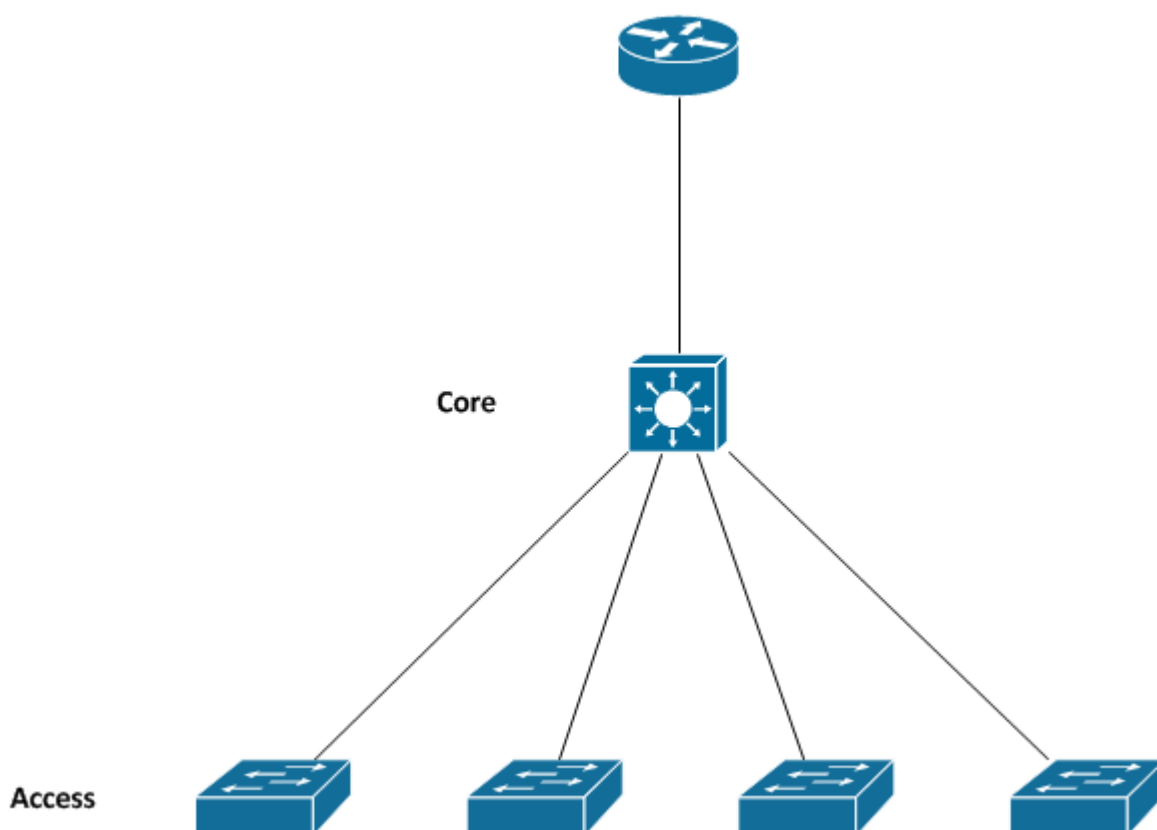
```

Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mst 0-1 root priority 0
Switch (config): end
  
```

Koska Varkauden kampuksella on useita HP ProCurve -kytkimiä sekä Ciscon kytkimiä on hyödyllisintä konfiguroida niihin toimimaan multiple spanning tree -protokolla, sen yhteensopivuuden takia. Hewlett-Packardin valmistamiin kytkimiin ei voi konfiguroida pvst+ -tai pvrst+ -protokollaa, koska ne ovat Ciscon omistusoikeudella valmistettuja mutta multiple spanning tree on IEEE-standardin mukainen. Myös koska Varkauden spanning treen loogisessa topologiassa ei ole redundanttisia yhteyksiä, joten dataliikenteen kuormantasausta ei voi konfiguroida verkkoon. Eli muista mahdollisista spanning tree -protokollan versioista ei ole vastaavaa hyötyä nykyisessä tietoverkon kokoonpanossa.

5.4 Iisalmen kampus

Iisalmen kampus koostuu pääsääntöisesti Ciscon valmistamista kytkimistä, joihin on konfiguroitu joko multiple spanning tree - tai per vlan spanning tree -protokolla. Iisalmen kampuksen looginen topologia on samanlainen kuin Kuopion Microkadun tai Varkauden kampusten topologia eli verkkoon ei voi muodostua datanvälityssilmukkaa.



KUVA 13 Iisalmen kampuksen looginen topologia

Core-kerroksen kytkin on Ciscon 3560 -sarjan Layer 3 -tason kytkin, johon on konfiguroitu multiple spanning tree -protokolla samalla tavalla kuin muilla kampuksilla, eli kaikki vlanit ovat yhdessä mst-instanssissa. Access-kerroksen kytkimet ovat Ciscon 2960 -sarjan kytkimiä, joihin osaan on konfiguroitu per vlan spanning tree plus -protokolla ja osaan multiple spanning tree. Kuten kuvasta 13 voi

havaita, Iisalmen kampuksen kytkinten välillä ei ole redundanttisia yhteyksiä eli tietoverkkoon ei voi konfiguroida dataliikenteen kuormantasausta, joten per vlan spanning tree -protokollaa käyttämällä verkon kytkimissä ei sen hyötyä saa toteutettua. Tietoverkon kaikissa kytkimissä on spanning treen oletusprioriteettiarvo 32 768 ja root-kytkimeksi on valittu osaan vlaneista Core-kerroksen kytkin ja osaan Access-kerroksen kytkin. Tämä johtuu siitä, että per vlan spanning tree laskee jokaiselle vlanelle erikseen root-kytkimen spanning treen prioriteettiarvoon sekä vlan ID:n ja pienimmän kytkimen MAC-osoitteen perusteella. Siksi Core-kerroksen kytkin, jossa on multiple spanning tree, on root-kytkin vain osalle vlaneista. Tämä ei ole spanning tree -protokollan toiminnan kannalta optimaalinen tilanne ja voi johtaa spanning treen vikatilanteeseen, jossa multiple spanning tree -protokollaa käyttävä kytkin asettaa portin, joka on kytketty pvst+ -protokollaa käyttävään kytkimeen, root-inconsistent -tilaan ja estää dataliikenteen välittämisen tämän kautta (Lapukhov 2010-02-22.)

Spanning treen toiminnan parannuksena Iisalmen kampukselle pitäisi asettaa Core-kerroksen Cisco 3560 -kytkin root-kytkimeksi kaikkiin vlaneihin konfiguroimalla spanning treen prioriteettiarvo pienemmäksi kuin muissa kytkimissä. Tämän voi toteuttaa seuraavilla komentorivin komennoilla:

```
Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mst 0-1 root priority 0
Switch (config): end
```

Koska Iisalmen kampuksella on käytössä alle 10 vlnia ja tietoverkkoon ei voi konfiguroida dataliikenteen kuormantasausta, spanning tree -protokollan version voisi vaihtaa per vlan spanning tree plus -protokollaa käyttäviin kytkimiin multiple spanning tree -protokollaksi ja konfiguroida se samalla tavalla kuin 3560 -kytkimessä niin, että kaikki kytkimet ovat samassa mst-alueessa. Tämän voi tehdä seuraavilla komennoilla:

```
Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mst configuration
Switch (config-mst): instance 1 vlan 1-4094
Switch (config-mst): end
```

```
Switch: configure terminal
Switch (config): spanning-tree mode mst
Switch (config): end
```

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli perehtyä Savonia-ammattikorkeakoulun kampusten tietoverkkojen spanning tree -protokollan toimintaa ja tutkia tapoja parantaa sen toimintaa. Työssä pääsi perehtymään syvällisesti spanning tree -protokollan teoriaan, mikä vaati englannin kielen taitoa koska lähes kaikki kirjallisuus ja verkkomateriaali on kirjoitettu englanniksi. Tietoverkkokoulutuksessani ei eri laboratorioharjoituksissa spanning tree -protokollaa konfiguroitu kovin monimutkaisiin ratkaisuihin ja kaikkia protokollan versioita ei myöskään näissä harjoituksissa käytetty, joten oli itselleni hyvää kokemusta testata erilaisia verkkokonfiguraatioita ja eri spanning tree -versioita.

Aiemmat spanning tree -protokollan versiot ovat konfiguraatioltaan yksinkertaisia ja toimivat automaattisesti, eivätkä siten välttämättä vaadi verkonylläpitäjältä laajaa spanning treen teorian ymmärrystä. Mutta uusimpia spanning tree -protokollan versioita käyttöönotettaessa tietoverkossa on syytä olla huolellisempi ja suunnitelmallinen niiden konfiguraatioissa. Etenkin tietoverkoissa, joissa käytetään kytkimissä useita eri spanning tree -protokollan versioita sekaisin. Mikäli spanning treen konfigurointia ei ollut huolellisesti suunniteltu, riski spanning treen toiminnan ongelmiin ja suoranaisiin viatilanteisiin kasvaa.

Savonia-ammattikorkeakoulun tietoverkon spanning treen toimintaan perehdyttyäni mielestäni löysin parannuskohdat hyvin ja spanning treen konfiguraatioon tehtävät parannusehdotukset on helppo toteuttaa. Nämä tosin tehostavat vain verkon nykyistä toimintaa, entistä paremman kokonaisuuden toteuttamiseksi olisi hyvä aloittaa suunnittelu aivan alusta ja järjestelmällisesti konfiguroida tietoverkon nykyiset ja tulevat kytkimet tämän suunnittelun pohjalta.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

CISCO SYSTEMS, INC. Configuring Rapid PVST+ [verkkosivu]. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/datacenter/nexus5000/sw/configuration/guide/cli/CLIConfigurationGuide/RPVSpanningTree.html>

CISCO SYSTEMS, INC 2005. Troubleshooting Spanning Tree PVID- and Type-Inconsistencies [verkkosivu]. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/spanning-tree-protocol/24063-pvid-inconsistency-24063.html#topic1>

FROOM, Richard, SIVASUBRAMANIAN, Balaji & FRAHIM, Erum 2011. Implementing Cisco IP Switched Networks (SWITCH) Foundation Learning Guide. Indianapolis: Cisco Press.

HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY 2007. HP ProCurve Switches - HP ProCurve Switches and Cisco Spanning Tree Interoperability [verkkosivu]. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://www1.hp.com/ctg/Manual/c02571903.pdf>

LAPUKHOV, Petr 2008-09-24. Mstp-2-figure-2 [digikuva]. MSTP Tutorial Part II: Outside a Region [verkkoaineisto]. Petr Lapukhov in CCIE R&S, Switching. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://blog.ine.com/2008/09/24/mstp-tutorial-part-ii-outside-a-region/>

LAPUKHOV, Petr 2008-07-27. MSTP Tutorial Part I: Inside a Region [verkkoaineisto]. Petr Lapukhov in CCIE R&S, Switching. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://blog.internetworkexpert.com/2008/07/27/mstp-tutorial-part-i-inside-a-region/>

LAPUKHOV, Petr 2008-09-24. MSTP Tutorial Part II: Outside a Region [verkkoaineisto]. Petr Lapukhov in CCIE R&S, Switching. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://blog.ine.com/2008/09/24/mstp-tutorial-part-ii-outside-a-region/>

LAPUKHOV, Petr 2008-07-17. PVST+ Explained [verkkoaineisto]. Petr Lapukhov in CCIE R&S, Switching. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://blog.internetworkexpert.com/2008/07/17/pvst-explained/>

LAPUKHOV, Petr 2010-02-22. Understanding MSTP [verkkoaineisto]. Petr Lapukhov in Switching. [Viitattu 2015-05-15.] Saatavissa: <http://blog.ine.com/2010/02/22/understanding-mstp/>